

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-260460

(P2002-260460A)

(43)公開日 平成14年9月13日(2002.9.13)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	Fコード(参考)
H 0 1 B 13/00		H 0 1 B 13/00	Z 5 B 0 4 6
G 0 6 F 17/60	6 1 2	G 0 6 F 17/60	6 1 2 L
19/00	1 0 0	19/00	1 0 0

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2001-58445(P2001-58445)

(22)出願日 平成13年8月2日(2001.8.2)

(71)出願人 000183406

住友電線株式会社

三重県四日市市西家広町1番14号

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 川北 有紀

三重県四日市市西家広町1番14号 住友電

線株式会社内

(74)代理人 100086233

弁理士 吉田 茂明 (外2名)

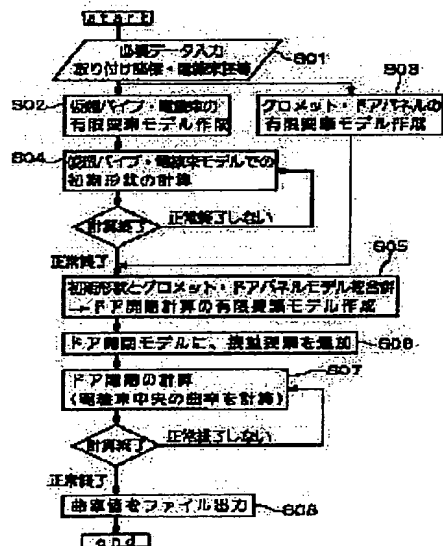
最良段に続く

(54)【発明の名称】 電線束の屈曲寿命予測方法

(57)【要約】

【課題】 有限要素法によってグロメット内の電線束の屈曲寿命を予測する場合に、モデル化が容易で且つ有限要素法に係るコンピュータの計算処理負担を低減する。

【解決手段】 電線束を、太さを持たないその中心線で、グロメットを、余裕空間の寸法のみを考慮した仮想パイプでそれぞれ構造体を代替してモデリングし、有限要素に分割する。形状が単純化できるので、コンピュータでの計算処理負担が減る。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 導体線を絶縁層にて被覆してなる電線を複数束ねた電線束が、所定の保護管内を貫通するとともに、前記保護管とは異なる外部構造物に固定される場合に、前記外部構造物の動作に起因した前記電線束の屈曲による断線に至るまでの屈曲寿命を有限要素法に従って予測する電線束の屈曲寿命予測方法であって、前記電線束、前記保護管及び前記外部構造物のそれぞれの初期形状を決定する初期形状決定工程と、前記外部構造物の動作を仮想して前記電線束及び前記保護管の伸屈変形を解析し、前記電線束の曲率変化を計算する伸屈動作解析工程と、前記伸屈動作解析工程で得られた曲率変化に基づいて、予測対象となる前記電線束の歪み変化量を算出する歪み変化量算出工程と、前記歪み変化量算出工程で算出された前記歪み変化量により予め設定された寿命予測曲線に照合して、前記電線束の屈曲寿命を予測する照合工程とを備え、前記初期形状決定工程では、前記電線束の初期形状を、前記電線束の中心線の初期形状に代替させ、前記保護管の初期形状を、前記保護管の前記電線束に対する余裕空間の余裕寸法のみを内径とする仮想パイプの初期形状に代替させ、当該仮想パイプの両端部において前記電線束の中心線が拘束されないように前記電線束の中心線の初期形状を決定することを特徴とする電線束の屈曲寿命予測方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の電線束の屈曲寿命予測方法であって、前記伸屈動作解析工程において、前記電線束の曲率変化を、前記電線束の中心線の曲率変化に代替させることを特徴とする電線束の屈曲寿命予測方法。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の電線束の屈曲寿命予測方法であって、前記寿命予測曲線は、1 本の単線について、複数の歪み変化量について前記単線を繰り返し曲げを施して、当該単線の断線に至るまでの屈曲回数を実際に測定することにより歪み変化量と前記屈曲回数との相関関係を求めたものであり、前記歪み変化量算出工程において、前記導体線と前記絶縁層の各曲げ弾性係数を断面積比率によって重み付け平均した 1 本の仮想的線部材を想定し、当該仮想的線部材を 1 本の前記電線として、前記仮想的線部材の屈曲を受ける領域内で最も大きく屈曲変化する位置において最も屈曲した状態のいずれか単一の電線の曲げ半径を R_1 とし、最も伸長した状態の前記単一の電線の曲げ半径を R_2 とし、前記 R_1 と前記 R_2 の差が最も大きいいずれか単一の電線の半径を r として、次式により前記歪み変化量 ($\Delta \varepsilon$) を算出することを特徴とする電線束の屈曲寿命予測方法。

$$\Delta \varepsilon = r \cdot (1/R_1 - 1/R_2)$$

【発明の詳細な説明】

【00001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、導体線を絶縁層にて被覆してなる電線が束ねられた電線束であって、自動車や産業機器およびそれらに装着される電気・電子機器の電気信号や電源からの電力を供給する電線束の屈曲による断線に至るまでの屈曲寿命を予測する電線束の屈曲寿命予測方法に関する。

【00002】

【従来の技術】 一般に、自動車のドアとボディとに架け渡される電線束は、防水及び外傷防止を目的とした保護用のグロメット内に貫通した状態で、そのグロメットが自動車のドアとボディとのヒンジ部分に固定される。この場合、ドアが開閉されるたびに電線束が伸屈変形を繰り返すため、その部分の電線束の屈曲寿命を予測することが、電線束の製造及び取付の際の製品選択において重要となる。

【00003】 ここで、ドアとボディとのヒンジ部分に架け渡されたグロメットの内部の電線束がどの程度の屈曲寿命を有しているかを予測するために、有限要素法（マトリックス応力解析法）を適用することが可能と考えられる。

【00004】 この有限要素法は、複雑な構造物の連続体の応力分布等をコンピュータを使って解析するシュミレーション技法のひとつであり、解析対象となる構造物を、三角形または矩形の有限要素網目により有限個の要素に分割し、それぞれの要素において基礎微分方程式を立てるとともに、各要素の解が隣接要素の解との間に連続性を満足するように、大きな連立一次方程式（マトリックス方程式）を解く手法である。

【00005】

【発明が解決しようとする課題】 有限要素法は、上述のように構造物を有限要素網目で有限個に分割して解析を行うものであるが、上述のように、グロメットの内部に電線束を貫通させた場合、グロメットの形状が蛇腹状であるなどの複雑な構造を有しているため、グロメットを複数の要素に分解してモデリングを行って各要素についてそれぞれの物性を適用すると、かなり煩雑なデータを計算処理しなければならない。また、屈曲寿命の予測対象が、複数の電線束の集合体である電線束であるため、個々の電線束のそれぞれについて個々の要素に分解してモデリングを行い、その各要素について屈曲寿命の予測を行うこととすると、計算処理量が膨大なものになってしまう。

【00006】 これらのことから、グロメット内の電線束を有限要素法で解析すると、コンピュータの計算処理負荷が極めて高くなってしまい、計算に要する時間が極めて多大になってしまう。

【00007】 また、グロメットや電線束の各電線といった個々の構造物を有限要素網目で分割する工程自体が非

常に手間のかかるものとなってしまう。

【00008】そこで、この発明の課題は、有限要素法によってクロメット内の電線束の屈曲寿命を予測する場合に、モデル化が容易で且つ有限要素法に係るコンピュータの計算処理負荷を低減する電線束の屈曲寿命予測方法を提供することにある。

【00009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決すべく、請求項1に記載の発明は、導体線を絶縁層にて被覆してなる電線を複数本束ねた電線束が、所定の保護管内を直通するとともに、前記保護管とは異なる外部構造体に固定される場合に、前記外部構造体の動作に起因した前記電線束の屈曲による断線に至るまでの屈曲寿命を有限要素法に従って予測する電線束の屈曲寿命予測方法であって、前記電線束、前記保護管及び前記外部構造体のそれぞれの初期形状を決定する初期形状決定工程と、前記外部構造体の動作を仮想して前記電線束及び前記保護管の伸屈変形を解析し、前記電線束の曲率変化を計算する伸屈動作解析工程と、前記伸屈動作解析工程で得られた曲率変化に基づいて、予測対象となる前記電線束の歪み変化量を算出する歪み変化量算出工程と、前記歪み変化量算出工程で算出された前記歪み変化量により予め設定された寿命予測曲線に照合して、前記電線束の屈曲寿命を予測する照合工程とを備え、前記初期形状決定工程では、前記電線束の初期形状を、前記電線束の中心線の初期形状に代替させ、前記保護管の初期形状を、前記保護管の前記電線束に対する余裕空間の余裕寸法のみを内径とする仮想パイプの初期形状に代替させ、当該仮想パイプの両端部において前記電線束の中心線が拘束されないように前記電線束の中心線の初期形状を決定する。

【00010】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の電線束の屈曲寿命予測方法であって、前記伸屈動作解析工程において、前記電線束の曲率変化を、前記電線束の中心線の曲率変化に代替させる。

【00011】請求項3に記載の発明は、請求項1または請求項2に記載の電線束の屈曲寿命予測方法であって、前記寿命予測曲線は、1本の単線について、複数の歪み変化量について前記単線を繰り返し曲げを施して、当該単線の断線に至るまでの屈曲回数を実際に測定することにより歪み変化量と前記屈曲回数との相関関係を求めたものであり、前記歪み変化量算出工程において、前記導体線と前記絶縁層の各曲げ弾性係数を断面積比率によって重み付け平均した1本の仮想的線部材を想定し、当該仮想的線部材を1本の前記電線として、前記仮想的線部材の屈曲を受ける領域内で最も大きく屈曲変化する位置において最も屈曲した状態のいずれか単一の電線の曲げ半径をR1とし、最も伸長した状態の前記単一の電線の曲げ半径をR2とし、前記R1と前記R2の差が最も大きいいずれか単一の電線の半径をrとして、次式により前記歪み変化量(Δε)を算出することを持つとする電線

束の屈曲寿命予測方法。

【00012】 $\Delta \epsilon = r \cdot \left(\frac{1}{R1} - \frac{1}{R2} \right)$

【00013】

【発明の実施の形態】 {一の実施の形態} 図1はこの発明の一の実施の形態に係る電線束の屈曲寿命予測方法の対象となる電線束(ワイヤーハーネス)1及びクロメット(保護管)2を示す側面図である。尚、この実施の形態に記載した電線束1の屈曲寿命の予測方法は、自動車等のドア3(図1中の符号Aの領域)の所定位置(ドアパネル)4とボディ5(図1中の符号Cの領域)の所定位置(ボディパネル)6との間Bのヒンジ部付近に設置されるクロメット2内を電線束1が直通する場合に、ドア3の開閉動作に伴って電線束1が伸屈変化する際の電線束1の屈曲寿命を予測するものである。尚、この明細書では、ドア3、ドアパネル4、ボディ5及びボディパネル6を外部構造体と総称する。

【00014】まず、この一の実施の形態の基本的な考え方について説明する。本発明者等は、電線束1の屈曲寿命を支配する因子について鋭意検討を行った。その結果、特に低温下においては、各電線の絶縁層の疲労破壊によりクラックが生じると、そのクラックが生じた部分の導体部に局部的な応力がかかりやすくなることから、電線束1の各電線中の断線は導体部を被覆する絶縁層の疲労破壊に主として支配されるものであり、絶縁層の疲労破壊はその表面歪みの変化量と強い相関を有することを究明した。すなわち、電線束1の屈曲寿命と曲げ変形時の絶縁層表面の歪み変化量との間に強い相関関係が存在するという知見を得たのである。ただし、電線束1が実際に自動車のドア3等に設置される場合には、S字形やU字形等の様々な形状で設置される。そして、その形状によって、電線束1への応力のかかり方も変化する。しかしながら、電線束1が様々な形状で設置されるにも拘わらず、電線束1の屈曲寿命と歪み変化量との間の相関関係は電線束1の形状には依存せず、幅広い屈曲形状において一定であるとの知見も得た。

【00015】したがって、電線束1の屈曲寿命と歪み変化量との間の相関関係を予め実験的に求めておけば、様々な製品条件下の電線束1についてその歪み変化量を解析するだけで電線束等の屈曲寿命を予測することができるとなる。

【00016】そして、電線束1についてその歪み変化量を解析する場合に、有限要素法によりコンピュータを用いることが効率的であるが、電線束1が複数の電線を含んでおり、またクロメット2の形状が複雑であるため、これらの形状及び物性(曲げ剛性)を厳密にモデリングして有限要素法で解析を行うと、コンピュータの計算処理負荷が多大なものになってしまう。そこで、この発明は、各構造体の有限要素モデルを単純化してコンピュータの計算処理負荷を低減しながらも、且つ屈曲寿命の予測精度を高く保持し得る屈曲寿命予測方法を提供するも

のである。

【0017】具体的に、この屈曲寿命の予測方法は、有限要素法を用いた電線束1の曲率値を求める曲率値計算工程（図2）と、得られた電線束1の曲率値に基づいて電線束1の予想寿命を得る予想寿命出力工程とを備える。以下、各工程について詳述する。

【0018】<1. 曲率値計算工程>曲率値計算工程は、有限要素法を用いたコンピュータでの計算処理により、電線束1を模した仮想単線11（図15参照）のドア開状態とドア閉状態でのそれぞれの曲率半径Rを求める工程であり、図2の如く、コンピュータにパラメータを入力するパラメータ入力工程（ステップS01）と、有限要素法の計算に必要な各構造物の初期形状を決定する初期形状決定工程（ステップS02、S04）と、ドア3の開閉動作に伴ってグロメット2内の電線束1が伸屈変化する際の動作解析を行う伸屈動作解析工程（ステップS03、S05～S08）とを備える。

【0019】1-1 パラメータ入力工程
パラメータ入力工程では、まずステップS01において、後工程での解析処理に必要なパラメータを入力する。

【0020】具体的なパラメータの項目としては、電線束1を固定する固定点の取付座標と、電線束1の属性情報と、グロメット2の属性情報と、ドア3の開閉角度と、温度条件とがある。

【0021】電線束1の固定点の取付座標としては、例えば図3または図4の如く、自動車ドア3のドアパネル4及びボディ5のボディパネル6の各座標位置を特定するとともに、このドア3及びボディ5のそれぞれにクランプ7等により電線束1が固定される座標位置を特定してそれぞれ入力を行う。この場合の入力値としては、例えば図3のようにドア3の開状態での取付座標を入力しておけば、図4に示したドア閉状態での電線束1の形状は、ドア3の開状態への変化に伴って計算により求めることができるため、ステップS01において入力する必要はない。

【0022】電線束1の属性情報としては、電線束1の各電線（被覆部となる絶縁層を含む）の径、当該導体線の本数、各導体線及び各絶縁層のそれぞれの曲げ剛性の値、電線束1全体としての外径等を特定して入力を行う。ここで、電線束1内の各構造物（導体線及び絶縁層）の曲げ剛性のパラメータは、初期形状、ドア3の開状態及び閉状態のそれぞれにおいて、電線束1の形状を正確にモデリングするために入力するものである。尚、この実施の形態では、後述の通り、電線束1については単純な1本の仮想単線11（図15参照）を想定してその形状をモデリングし、そのモデリング形状に基づいて、各電線（被覆部となる絶縁層を含む）の表面の屈曲寿命を予測するようになっているが、例えば繰り返し屈曲寿命予測を行う場合などにおいて、前回の屈曲寿命予

測より仮想単線11の径及び曲げ剛性（曲げ弾性）が予め解っている場合は、当該仮想単線11の径及び曲げ剛性等のパラメータを直接に入力するようにしてもよい。

【0023】グロメット2の属性情報としては、管状のグロメット2の貫通孔の内径及びグロメット2の長さ等を特定して入力を行う。ここで、グロメット2の曲げ剛性については入力の必要がない。この理由は次の通りである。

【0024】この電線束1の屈曲寿命予測方法は、文字通りに当該電線束1の屈曲寿命を予測するだけでよい。また、この一の実施の形態では、自動車の低温下での使用における予測値を求めることが目的となっているが、常温や低温といった温度変化に伴うグロメット2の曲げ剛性の変化は、使用される材質の違いに起因して、電線束1の温度変化に伴う曲げ剛性の変化に比べると無視できることを実験により明らかにした。したがって、電線束1が低温下において硬化したときには、グロメット2の形状によって電線束1の形状が束縛されることはほとんどなく、むしろ電線束1の形状によってグロメット2の形状が束縛されることになる。このことから、グロメット2の形状を把握しさえすれば、グロメット2の温度変化に伴う曲げ剛性のパラメータは要求されず、故に、グロメット2の剛性を無視しても、電線束1の屈曲寿命を十分に予測することができることから、グロメット2の曲げ剛性等の物性パラメータをこのステップS01で省略しても、電線束1の屈曲寿命の予測値の精度が低下することはない。

【0025】ドア3の開閉角度は、ドア3が開状態のときの当該ドア3のボディ5に対する相対角度と、ドア3が閉状態のときの当該ドア3のボディ5に対する相対角度とを特定して入力する。

【0026】また、電線束1については、常温や低温（冬季での低温に相当する温度を含む）等の温度の変化に応じて曲げ剛性の値が変化するため、温度のパラメータをも入力しておく。

【0027】ここで入力された各パラメータは、プロジェクトファイルと呼ばれるデータファイルとしてハードディスクドライブ等の所定の記憶装置内に格納される。

【0028】1-2. 初期形状決定工程

次段の初期形状決定工程では、仮想パイプ9と、電線束1を単純モデル化した仮想単線11（図15参照）との初期形状を決定して有限要素モデルを作成する。

【0029】まずステップS02において、仮想パイプ9と仮想単線11とを仮想空間上で直線状に配置してこれらの有限要素モデルを作成する。

【0030】この場合、まず図5に示したように、グロメット2の内径寸法D1の貫通孔の内径に、外径D2の太さを有する電線束1が貫通している現実的なモデル（以下「現実モデル」と称す）を作成しておく。この場合、

電線束1に対するグロメット2の余裕空間の余裕寸法は、グロメット2の内径寸法D1から電線束1の外径D2を減算した(D1-D2)となる。

【0031】ここで、電線束1の初期形状を決定する段階では、その太さ(外径D2)を考慮すると形状決定の作業が複雑になるため、上記の現実モデル以外に、図6のように電線束1の中心軸としての太さを持たない中心線8のみを考慮した仮想モデルをも決定しておく。ただし、この仮想モデルの場合でも、電線束1の外表面とグロメット2の内周面との離間距離は現実の寸法を適用することが望ましい。このことから、図6のように、太さを持たない中心線8から現実の離間距離 $\{(D1-D2)/2\}$ と同じ寸法だけ離間した仮想パイプ9を想定しておく。仮想パイプ9の内径は(D1-D2)である。この値は、上記した余裕空間の余裕寸法に一致している。尚、このステップS02での現実モデル及び仮想モデルでは、電線束1の中心線8が仮想パイプ9の中心線と一致するように配置しておく。ここで決定された直線状の仮想パイプ9の形状を図7に示す。図7中の符号L1はこの屈曲寿命予測方法の解析計算処理において使用する電線束1(及びその中心線8)の長さ寸法を示しており、少なくともドアの開閉動作によって変形する可能性のある部分の長さ以上に設定される任意の値が適用される。また、符号L2は実際のグロメット2の長さ寸法であり、ここでは仮想パイプ9の長さ寸法として図示される。

【0032】そして、現実モデル及び仮想モデルのそれぞれについて、所定の細かさの有限要素網目を設定して要素分割を行っておく。尚、仮想パイプ9の内部での電線束1の中心線8の形状は、電線束1の中心線8の屈曲寿命の予測を行う上で極めて重要である。このため、要素分割を行う際には、仮想パイプ9の外周で設定する電線束1の中心線8の有限要素網目よりも仮想パイプ9内部の電線束1の中心線8の有限要素網目を細かく設定しておく。

【0033】尚、かかるステップS02での作業は、ステップS01で入力されたパラメータに基づいてコンピュータのCPUにおいて自動的に計算処理される。

【0034】次に、ステップS03において、図8に示したように、ドア3のドアパネル4及びボディ5のボディパネル6の実状に対応した座標位置から、これらの有限要素モデルを作成する。ここでは、ドアパネル4及びボディパネル6の初期形状として、例えばドア閉状態での形状を適用しておく。また、ドア3及びボディ5のそれぞれにおける電線束1のクランプTの位置を特定しておく。ここで決定したドアパネル4及びボディパネル6の座標位置は、グロメット2及び仮想パイプ9の取付位置(グロメット位置)を決定付けるものである。このステップS03での作業は、ステップS01で入力されたパラメータに基づいてコンピュータのCPUにおいて自

動的に計算処理される。

【0035】続くステップS04では、仮想パイプ9及び電線束1の中心線8のモデルでの初期形状を計算する。具体的には、上記ステップS02で作成した仮想パイプ9及び電線束1を、上記ステップS03で作成したドアパネル4及びボディパネル6の座標位置に対応するよう変形し、図9に示したように仮想パイプ9及び電線束1の中心線8の初期形状を決定する。

【0036】ここで、電線束1の中心線8の初期形状の決定方法についてさらに詳しく説明する。

【0037】例えば、図10及び図11のように、グロメット2の内周形状に対応する仮想パイプ9の内部を、電線束1の形状に対応するその中心線8が通過する場合に、仮想パイプ9の両端部の中心点9a、9bを電線束1の中心線8が通過するようにして中心線8の形状を決定する方法も考えられる。しかしながら、仮想パイプ9の内部空間内で電線束1の中心線8が寸法的に余裕を持って配される(このことは、グロメット2の内部空間において電線束1が余裕をもって配置されることに対応している)ことから、電線束1の中心線8が仮想パイプ9の両端部の内周の中心点9a、9bを通過するとは限らない。むしろ、ドア3が開状態になることによって、仮想パイプ9及び電線束1の中心線8が図10のように湾曲すると、電線束1の中心線8がそのクランプTの位置に制約を受けることで仮想パイプ9の両端部の内周の中心点9a、9bからずれた状態になることがほとんどである。このように、電線束1の中心線8を現実のものと異なる形状でモデリングして屈曲寿命の予測を行うと、実際の電線束1の屈曲寿命とは大幅に異なった予測値が計算されることになってしまう。

【0038】これらのことから、この実施の形態では、仮想パイプ9の存在をほとんど無視して電線束1の中心線8のモデリングを行う(以下「完全フリーモデル」と称する)。すなわち、電線束1の中心線8(電線束1の形状に対応)及び仮想パイプ9(グロメット2の形状)が一直線状に配置される場合は、図11のように、電線束1の中心線8が仮想パイプ9の両端部の中心点9a、9bを通過するように配置するものの、仮想パイプ9が湾曲した場合は、図12及び図13のように、その仮想パイプ9の両端部の中心点9a、9bの座標位置に拘泥せずに、電線束1を固定するドア3及びボディ5のクランプTの位置にのみ電線束1の中心線8が拘束されるように形状を決定する。

【0039】ただし、上述のように、仮想パイプ9がドア3の開状態によって湾曲する場合に、これに対応する現実のグロメット2の内周部分の中間位置において電線束1の表面が当接して形状制約を受けることが予想され、この場合にのみ電線束1の形状がグロメット2の形状によって制約を受けることになる。このことを考慮し、この実施の形態では、後述するステップS05にお

いて現実モデルを使用し、仮想単線 1 1 (図 1 5 参照) とグロメット 2 について、ドア開閉を考慮した形状の規制を行うことになる。ただし、かかる補正は、このステップ S 0 4 においては実行されず、後述のステップ S 0 6 において実行される。

【0040】このように、仮想パイプ 9 の内部に電線束 1 の中心線 8 を直通させる場合に、仮想パイプ 9 の存在を無視して完全フリーモデル (すなわち、電線束 1 の中心線 8 の形状が仮想パイプ 9 によって影響を受けないモデル) として有限要素法により計算を行っているので、電線束 1 の中心線 8 としてワイヤーハーネスを適用した場合に、従来のように仮想パイプ 9 の端末中心に固定されていると仮定して計算をした場合に比べて、屈曲寿命の計算値 (予測値) を現実の屈曲寿命の値に近似させることができる。

【0041】しかも、仮想パイプ 9 自体の有限要素法によるコンピュータ解析処理を省略できるため、コンピュータでの計算処理負担を大幅に低減することができる。さらに仮想パイプ 9 を有限要素網目によって分割する工程が必要なくなるため、大幅に努力を低減できる。

【0042】1-3 伸屈動作解析工程
ステップ S 0 5 において、上記ステップ S 0 3 で作成したドアパネル 4 及びボディパネル 6 の初期形状のモデルと、上記ステップ S 0 4 で作成した仮想パイプ 9 及び電線束 1 の中心線 8 の初期形状のモデルとを図 1 4 のように合併して、ドア開閉計算の有限要素モデルを作成する。具体的には、ステップ S 0 1 で入力した固定点の取付座標を、ステップ S 0 3 で作成したドアパネル 4 及びボディパネル 6 にプロットし、この固定点の取付座標にステップ S 0 4 で作成した電線束 1 の中心線 8 のモデルを重ね合わせる。

【0043】次に、ステップ S 0 6 において、ドア開閉モデルに接触要素を追加する。ここでは現実モデルを用いる。ただし、電線束 1 の複数の電線について全てをそれぞれの構造物とすると、後段の解析計算が煩雑となるため、電線束 1 の総合的な物性に基いて想定された図 1 5 のような仮想単線 (仮想的線部材) 1 1 を適用する。仮想単線 1 1 は、電線束 1 の複数の電線における導体部の金属材料の曲げ弾性係数と、被覆層の絶縁材料の曲げ弾性係数を、その断面積比率によって重み付け平均し、導体部の金属材料と被覆層の絶縁材料とを平均化した仮想的な材料を想定し、かかる仮想的な材料からなる 1 本の仮想単線 1 1 とする。そして、この仮想単線 1 1 がグロメット 2 により束縛された状態で接触することから、グロメット 2 内の仮想単線 1 1 の径を考慮し、その空間占有率を考慮しながら、接触要素を定義して、仮想単線 1 1 の形状の補正を行う。尚、接触要素の具体的な定義方法については、一般的な有限要素モデルにおける接触要素の定義方法と変わりないため、説明の簡便のためここでは詳説しない。

【0044】続いて、ステップ S 0 7 では、ステップ S 0 1 で入力されたドア 3 の開閉角度に基づいて、仮想モデルにおける電線束 1 の中心線 8 を基準に、ドア 3 の開状態及び閉状態のそれぞれの場合についての電線束 1 の中心線 8 の曲率半径 R を計算する。

【0045】そして、ステップ S 0 8 において、電線束 1 の中心線 8 の長手方向において、最も伸長した場合と最も屈曲した状態での曲率変化量をステップ S 0 7 で計算した曲率を基に計算する。この曲率変化量の計算結果は、曲率値ファイルと呼ばれるデータファイルのデータとしてハードディスクドライブ等の所定の記憶装置に記憶する。

【0046】<2. 予想寿命出力工程>図 1 6 は、予想寿命出力工程の処理手順を示すフローチャートである。ただし、この図 1 6 に示した処理手順に先駆けた事前段階として、電線束 1 の屈曲寿命と歪み変化量との相関関係を示すマスターカーブ (寿命予測曲線) を予め取得する必要がある。

【0047】2-1 マスターカーブ (寿命予測曲線) の取得工程 (事前段階)
マスターカーブ (寿命予測曲線) の取得工程においては、単一の単線について、上記の有限要素法による曲率値計算工程での曲率半径の値に基づいて、その単線の歪み変化量を求め、この歪み変化量の値と、実験の結果得られた当該単線の屈曲寿命とを、所定のグラフ座標上でプロットし、図 1 7 のような近似的に相関曲線を求め、これをマスターカーブ (寿命予測曲線) とする。同図の横軸は絶縁層表面の歪み変化量を示し、縦軸は屈曲寿命を示している。

【0048】ここで、単線の歪み変化量について説明する。導体線を絶縁層にて被覆してなる単線の半径を r とする。単線は曲げ変形を受けており、その曲げ半径を R とすると、曲率 K は $K = 1/R$ で表される。このときに単線の絶縁層の表面に生じている歪み ϵ は次の (1) 式のように表される。

$$\begin{aligned} \epsilon &= 2\pi \cdot (R + r) / 2\pi R - 1 \\ &= (R + r) / R - 1 \quad \dots (1) \end{aligned}$$

ここで、ドア 3 等の屈曲を受ける位置に配置される単線において、その屈曲を受ける位置で最も屈曲した状態の単線の曲げ半径を R1 とし、最も伸長した状態の単線の曲げ半径を R2 として、この最も屈曲した状態と最も伸長した状態との間で単線に繰り返し曲げを施したときの絶縁層表面の歪み変化量を $\Delta \epsilon$ とすると、 $\Delta \epsilon$ は次の (2) 式にて表される。

$$\begin{aligned} \Delta \epsilon &= (R_1 + r) / R_1 - (R_2 + r) / R_2 \\ &= r \cdot (1/R_1 - 1/R_2) \\ &= r \cdot \Delta K \quad \dots (2) \end{aligned}$$

なお、(2) 式において ΔK は単線に繰り返し曲げを施

したときの曲率の変化量であり、上述した有限要素法による曲率値計算工程によって算出することができる。その算出された ΔK を、単線の各部位についてリストアップし、最も値の大きい ΔK を採用して、(2)式から絶縁層表面の歪み変化量 $\Delta \epsilon$ を求める。

【0051】一方、屈曲寿命については、単線に繰り返し曲げを施して、断線に至るまでの屈曲回数を実際に測定することによって求める。上述の如く、低温下における電線束等の断線は導体部を被覆する絶縁層の疲労破壊に主として支配されているものであり、屈曲寿命には温度依存性がある。従って、屈曲寿命の測定については図18のように必要な温度ごとに行っておく。同図の横軸は絶縁層表面の歪み変化量を示し、縦軸は屈曲寿命を示している。図18に示すように、温度が低下するほど屈曲性能が低下、すなわち同じ歪み変化量における屈曲寿命が短くなっている。

【0052】2-2 電線を選択して歪み変化量を算出する工程

次に、予測対象となる電線束1内において、最も歪み変化量 $\Delta \epsilon$ が大きいと推測される単一の電線について、その歪み変化量 $\Delta \epsilon$ を算出する。

【0053】ここでは、まず図16中のステップS11において、電線束1を単純モデル化した仮想単線11aとしてではなく、図20のように、その仮想単線11a内に実際に配置される各電線12についての形状を、上記した仮想単線11の形状に対応するように決定する。即ち、ステップS08によって出力された仮想単線11の最も屈曲した状態と最も伸長した状態の両方の形状に基づいて、仮想単線11の半径及び個々の電線12の半径の寸法をも考慮して、その内部で最も歪み変化量 $\Delta \epsilon$ の大きな電線12の最も屈曲した状態と最も伸長した状態の両方の形状を決定する。この場合、図20のように、仮想単線11の外周に接して電線12が配置されているものとし、そのなかで、最も歪み変化量 $\Delta \epsilon$ の大きな電線12が、電線束1の曲げ半径において最も内周側に位置する電線12として選ばれる。ただし、電線束1において複数の電線12同士がよじれて配置される場合があり、この場合は、どの電線12の歪み変化量 $\Delta \epsilon$ が最も大きくなるかを予測することが困難になる場合があるため、歪み変化量 $\Delta \epsilon$ が最も大きな電線12が複数ある場合には、そのいずれについても歪み変化量 $\Delta \epsilon$ を算出し、これに基づいて最大の歪み変化量 $\Delta \epsilon$ を示す電線12を比較し、事後的に選択すればよい。

【0054】そして、ステップS11の後、最大の歪み変化量 $\Delta \epsilon$ を有すると推定される電線12において、最も伸長した状態での曲率半径 R を $R1$ とし、電線が最も屈曲した状態での曲率半径 R を $R2$ とし、電線12の上記の有限要素法による曲率値計算工程に従って、曲率変化量 ΔK を曲率値ファイルから読み込む。

【0055】次に、ステップS12において、電線12

の径を r として、選択された電線12の曲率値（曲率半径の値）に基づいて、その歪み変化量 $\Delta \epsilon$ を上記した(2)式に従って計算する。

【0056】続いて、ステップS13において、ステップS12で求めた歪み変化量 $\Delta \epsilon$ が最大となる選択された電線12の点を選ぶ。

【0057】2-3 マスターカーブ（寿命予測曲線）への照合工程

そして、ステップS14において、ステップS13で選択した最大の歪み変化量 $\Delta \epsilon$ を、図18に示したマスターカーブ（寿命予測曲線）に当てはめ、そのときの縦軸の値を屈曲寿命の予測値とする。ここで、選択された電線12の屈曲寿命と歪み変化量との間の相関関係自体は電線12の径に依存しない。したがって、選択された電線12の歪み変化量を、上述した有限要素法による曲率値計算工程で算出することができれば、選択された電線12の製品条件によらず、その屈曲寿命を正確に予測することができる。なお、このことは本発明にかかる選択された電線12の屈曲寿命予測方法が選択された電線12の製品条件を全く考慮していないことを意味しているのではなく、予測対象としている選択された電線12の歪み変化量を(2)式に従って算出する段階において、その径 r を考慮している。このようにすれば、選択された電線12の製品条件によらず、その屈曲寿命を正確に予測することができるため、ワイヤーハーネスの設計等にその予測結果を反映することによって事前に排上検討が可能となり、最適設計、開発期間の短縮を図ることができる。また、屈曲寿命測定のために実際に行う試験を削減することができる。

【0058】ところで、複数の電線が束になった電線束1の応力を有限要素法で解析する場合は、本来的には個々の電線をそれぞれ別個の有限要素として三次元的に解析を行うのが原則であるが、この実施の形態では個々の電線を別個の構造物として三次元的にそれぞれモデリングするのではなく、上述の曲率値計算工程において、仮想的に仮想的な単線（仮想単線11）に単純化して一本の有限要素として取り扱い、これによりその形状が決定された後に、その内部のうちの最も歪み変化量 $\Delta \epsilon$ の大きくなる位置にある単一の電線12を選択し、この選択された電線12についてのみ、マスターカーブに照らして屈曲寿命予測を行ってらる。このように、初期形状と最終形状を計算するために、電線束1の実際の構造に基づく物性ではなく仮想単線11の相当直径及び曲げ剛性をモデリングして演算することで、電線束1の物性を大幅に単純化して演算することができる。そして、その結果として現実の屈曲寿命に極めて近似した屈曲寿命の予測値を得ることができる。したがって、コンピュータを用いた有限要素法（マトリックス応力解析法）で屈曲寿命の予測値を演算する際に、コンピュータの負荷を低減でき、素早く予測値を収束させることが可能とな

る。

【0059】また、上述の曲率値計算工程において、仮想パイプ9の内部を貫通する電線束1の中心線8の形状を決定する場合に、仮想パイプ9の存在を無視して完全フリーモデル（すなわち、電線束1の中心線8の形状が仮想パイプ9によって影響を受けないモデル）として有限要素法により計算を行っているので、電線束1の中心線8としてワイヤーハーネスを適用した場合に、従来のように仮想パイプ9の端末中心に固定されていると仮定して計算をした場合に比べて、屈曲寿命の計算値（予測値）を現実の屈曲寿命の値に近似させることができる。

【0060】具体的に、図19は所定の単線を用いてマスターカーブ（寿命予測曲線）MCを設定しておき、上記した屈曲寿命予測方法で電線束1の屈曲寿命予測を行った例である。

【0061】完全フリーモデルを用いるに、仮想パイプ9の端末中心を電線束1の中心線8が固定的に通過すると仮定して歪み変化量 $\Delta\epsilon$ を計算をし、且つ実際の屈曲寿命実験を行って断線に至るまでの伸屈運動の回数をプロットした場合、点P1の結果を得た。しかしながら、この点P1は、マスターカーブMCから大きく離れた点にプロットされていることが解る。

【0062】これに対して、上述のような完全フリーモデルを適用して歪み変化量 $\Delta\epsilon$ を計算をし、且つ実際の屈曲寿命実験を行って断線に至るまでの伸屈運動の回数をプロットした場合、点P2の結果を得た。この点P2は、マスターカーブMCに合致しており、この実施の形態の屈曲寿命予測方法の予測精度が極めて高いことを証明している。

【0063】しかも、仮想パイプ9自体の有限要素法によるコンピュータ解析処理を省略できるため、コンピュータでの計算処理負担を大幅に低減することができる。さらに仮想パイプ9を有限要素網目によって分割する工程が必要なくなるため、大幅に労力を低減できる。

【0064】尚、上記実施の形態では、ステップS11～S15において、電線束1（仮想単線11a）中で最も歪み変化量 $\Delta\epsilon$ の大きな単一の電線12について寿命予測を行っていたが、これに代えて、単純に仮想単線11（図15参照）の表面の屈曲寿命予測を行い、これを電線12の屈曲寿命予測としてもよい。この場合、

（2）式中の径 r は、仮想単線11の径（即ち、電線束1の径）を適用して計算すればよい。

【0065】〔他の実施の形態〕上記一の実施の形態では、低温下において、内部の導体部が破断するよりも先に、被覆部としての絶縁層にクラックが生じ、このクラックが原因となって応力が局部的にかかり、その結果内部の導体部が断線する場合の屈曲寿命予測方法について説明していた。

【0066】しかしながら、常温である場合においては、被覆材となる絶縁層として温度依存性の少ないハロ

ゲンフリーの樹脂材やP.E等を使用する場合や、温度依存性のあるP.V.C等の絶縁層を有していても、これらの電線等を繰り返し屈曲していくと、絶縁層の疲労破断によりクラックが生じる以前に、内部の芯線となる導体部が断線することがある。このことから、常温下においては、電線等の断線は必ずしも導体部を被覆する絶縁層の疲労破断に起因する場合ばかりでなく、むしろ、電線等の屈曲寿命は、内部の各素線の屈曲寿命に等しいと考えることができる。

【0067】この場合には、マスターカーブとして導体部（例えば銅）及び被覆材と同一材料の電線について予めマスターカーブを求め、電線束1のうちの最も歪み変化量 $\Delta\epsilon$ の大きな電線12中の導体部について、その歪み変化量 $\Delta\epsilon$ を有限要素法により求め、その結果をマスターカーブに照合して導体部の屈曲寿命予測を行えばよい。

【0068】この場合においても、電線束1を単線モデル化した仮想単線11を想定し、上記の一の実施の形態のステップS01～S08と同様にして仮想単線11の形状を決定した後、歪み変化量 $\Delta\epsilon$ が最大となるいずれかの電線12を選択し、その内部の導体部の形状を、仮想単線11の形状に応じて決定した後、当該導体部のみの屈曲寿命予測を行えばよい。この場合における（2）式中の径 r は、導体部の径を適用する。

【0069】このようにすれば、上記の一の実施の形態の低温環境下における電線束1の屈曲寿命だけでなく、常温環境下における電線束1の屈曲寿命をも容易に予測することができる。

【0070】以上この発明の各実施例について説明したが、この発明の範囲は上記実施例に限られるものではなく、添付された請求の範囲によって規定される。

【0071】

〔発明の効果〕請求項1及び請求項2に記載の発明によれば、複数の電線が束になった電線束の応力を有限要素法で形状解析する場合に、本来的には個々の電線をそれぞれ別個の有限要素として三次元的に解析を行うのが原則であるが、この実施の形態では個々の電線を別個の構造体として三次元的にそれぞれモデリングするのではなく、擬似的に仮想的な単線に単純化して全体的な形状を決定するようにしているので、初期形状と最終形状を計算するために、電線束の実際の構造に基づく物性ではなく仮想単線の相当直径及び曲げ弾性をモデリングして演算することで、電線束の物性を大幅に単純化して演算することができる。そして、その結果として現実の屈曲寿命に極めて近似した屈曲寿命の予測値を得ることができる。したがって、コンピュータを用いた有限要素法（マトリックス応力解析法）で屈曲寿命の予測値を演算する際に、コンピュータの負担を低減でき、素早く予測値を収束させることが可能となる。

【0072】また、請求項1に記載の発明によれば、電

線束、保護管及び外部構造体のそれぞれの初期形状を決定する際に、まず電線束の初期形状を、電線束の中心線の初期形状に代替させ、さらに保護管の初期形状を、保護管の電線束に対する余裕空間の余裕寸法のみを内径とする仮想パイプの初期形状に代替させ、当該仮想パイプの両端部において電線束の中心線が拘束されないように電線束の中心線の初期形状を決定しているので、仮想パイプの両端部の例えば中心点を電線束の中心線が通るように電線束の形状を拘束する場合に比べて、現実の電線束の形状を反映した曲率変化を導くことが可能となり、屈曲寿命の予測精度が向上する。

【００７３】さらに、請求項３に記載の発明によれば、１本の単線に繰り返し曲げを施して、予めその歪み変化量と屈曲寿命の実測値との相関関係を得た上で、予測対象となる電線束のうち最も歪み変化量の大きな電線、または電線束を単線モデル化した仮想単線について、その歪み変化量を有限要素法によって算出し、その算出された予測対象電線束の歪み変化量を上記相関関係に照合することによって予測対象電線束の屈曲寿命を予測しているため、電線束の製品条件によらずその屈曲寿命を正確に予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】自動車のドア部分に使用されているワイヤーハーネスを示す図である。

【図２】この発明の一の実施の形態に係る電線束の屈曲寿命予測方法における曲率値計算工程を示すフローチャートである。

【図３】ドア開状態である自動車のドアパネル及びボディパネルと電線束の中心線の各座標位置を特定した状態を示す図である。

【図４】ドア開状態である自動車のドアパネル及びボディパネルと電線束の中心線の各座標位置を特定した状態を示す図である。

【図５】電線束及びクロメットを示す断面図である。

【図６】電線束の中心線及び仮想パイプを示す断面図である。

【図７】電線束の中心線及び仮想パイプを仮想空間上に表示した様子を示す図である。

【図８】ドア及びボディを仮想空間上に表示した様子を示す図である。

【図９】電線束の中心線及び仮想パイプの形状をドア及びボディに適合させた状態を示す図である。

【図１０】提案例における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図１１】提案例における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図１２】この発明の一の実施の形態における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図１３】この発明の一の実施の形態における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図１４】電線束の中心線及び仮想パイプをドア及びボディに併合した状態を示す図である。

【図１５】電線束の歪み変化量について説明するための図である。

【図１６】この発明の一の実施の形態に係る電線束の屈曲寿命予測方法における予想寿命出力工程を示すフローチャートである。

【図１７】マスターカーブを示す図である。

【図１８】マスターカーブを温度毎に取得した状態を示す図である。

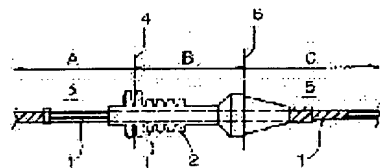
【図１９】曲率値計算工程で算出した曲率半径に基づき導かれた歪み変化量を、予想寿命出力工程においてマスターカーブに当てはめた様子を示す図である。

【図２０】一の実施の形態において、電線束を分割して歪み変化量を解析する様子を示す図である。

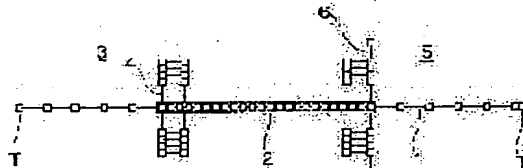
【符号の説明】

- １ 仮想単線
- １：１ 仮想線
- ２ クロメット
- ３ ドア
- ４ ドアパネル
- ５ ボディ
- ６ ボディパネル
- ８ 中心線
- ９ 仮想パイプ

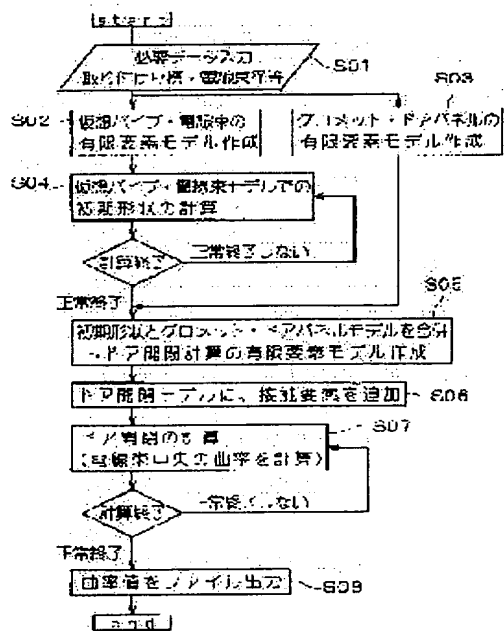
【図１】



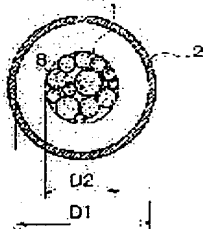
【図３】



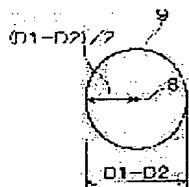
【図2】



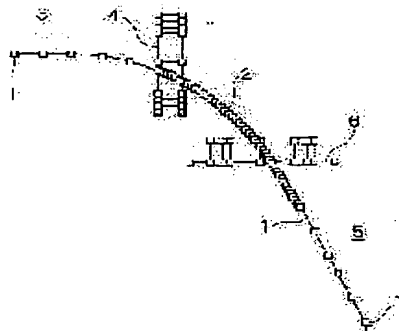
【図5】



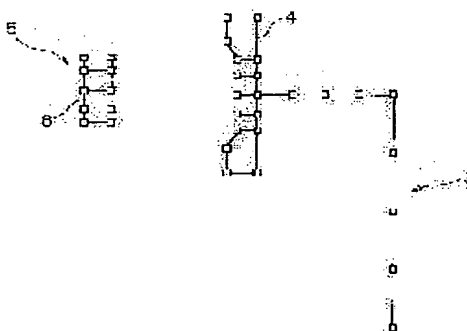
【図6】



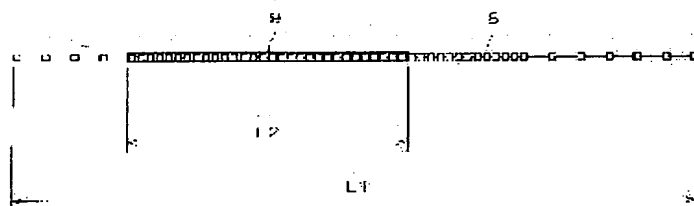
【図4】



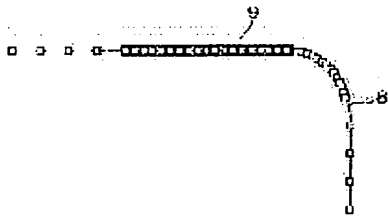
【図8】



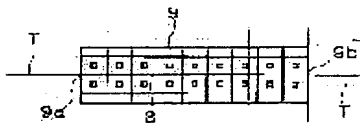
【図7】



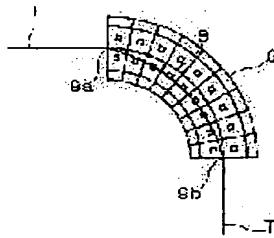
【図9】



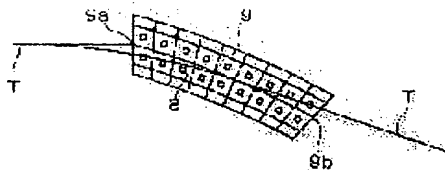
【図11】



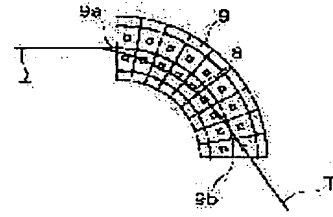
【図10】



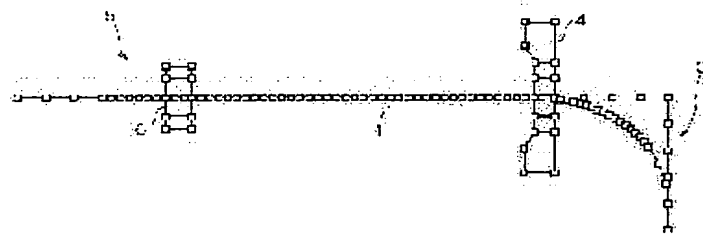
【図13】



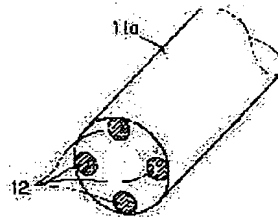
【図12】



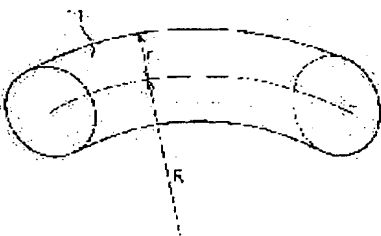
【図14】



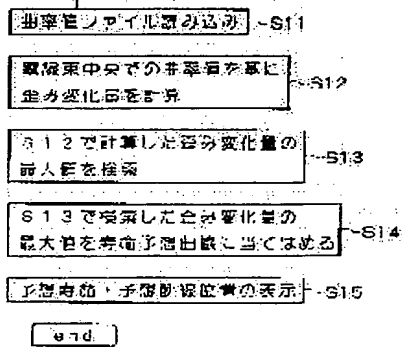
【図16】



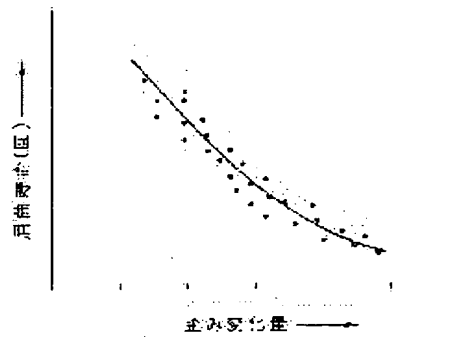
【図15】



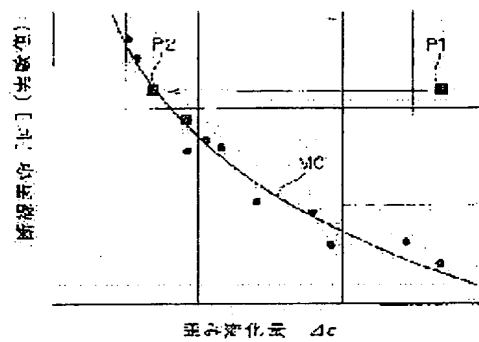
[start]



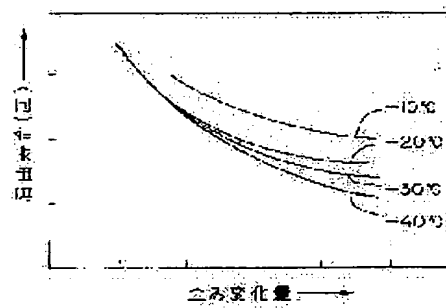
【図17】



【図19】



【図18】



フロントページの続き

- (72)発明者 井上 拓也
三重県四日市市西末広町1番14号 住友電
装株式会社内
- (72)発明者 川邊 仁
三重県四日市市西末広町1番14号 住友電
装株式会社内
- (72)発明者 尾上 尚好
三重県四日市市西末広町1番14号 住友電
装株式会社内

- (72)発明者 古庄 勝
大阪市此花区島屋1丁目1番3号 住友電
気工業株式会社大阪製作所内
- (72)発明者 大内 孝司
大阪市此花区島屋1丁目1番3号 住友電
気工業株式会社大阪製作所内
- Fターム(参考) 5B046 AA04 AA07 BA01 DA02 JA04
JA08